

A

Test GSI année 2009-2010 partie solidification (H. Combeau)
1h Documents autorisés.

Pour toutes les questions qui suivent, on considère la solidification d'un alliage binaire.

1. Rappelez la condition pour que le front de solidification soit plan et donner la signification physique de cette condition.
2. Pour quelle raison, la plupart des procédés de solidification conduisent à des structures du type dendritique ?
3. En coulée continue (cf TD 1^{ère} séance), si l'on augmente l'épaisseur du produit, toute chose égale par ailleurs, comment va évoluer la profondeur du puits liquide, argumentez votre réponse ?
4. Pour quelle raison est il possible dans les modèles de microségrégation des bras de levier et Gulliver-Scheil de négliger la diffusion du soluté dans la phase liquide dans la direction du gradient de température ?
5. Pour quelle raison est il possible dans les modèles de microségrégation des bras de levier et Gulliver-Scheil de considérer la diffusion du soluté dans la phase liquide comme très rapide dans la direction orthogonale au gradient de température ?
6. Donner la définition du coefficient de partage et de la pente de liquidus.
7. Si l'on réalise une mesure de composition à l'échelle d'une dendrite, dans le cas où le coefficient de partage est plus petit que un, on trouvera la composition la plus faible au cœur de la dendrite où à sa périphérie? Justifiez votre réponse.
8. Entre une expérience de solidification réalisée sur terre et en micro-gravité, laquelle des deux conduira à votre avis à une macroségrégation plus sévère, argumentez votre réponse.
9. Donner un exemple d'alliage binaire pour lequel la masse volumique de la phase liquide diminue avec la température dans l'intervalle de solidification.

Pente du liquidus: $m = \frac{dT_L}{dC_L}$

$T_m = T^{\circ} \text{ fusion}$
d'un corps pur

$$T = T_m + m C_L$$

$$T_{\text{liquidus}} = T_m + m C_0$$

$$T_{\text{solidus}} = T_m + m \frac{C_0}{k}$$

$$\Rightarrow \Delta T_{\text{end}} = T - T_m = m C_0 \left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

Partiel 2009-2010 - Solidification

1) Voir 2010-2011 Q1

2) Voir 2008-2009 Q2

3) L'épaisseur du produit augmente en fonction de la profondeur du puit.

$$\hookrightarrow e^2 = \frac{K}{\rho_p} \times \delta.$$

5) 4) Par définition:

- le modèle des bras de lever suppose que $\begin{cases} D_{\text{solide}} = 0 \\ D_{\text{liquide}} = \infty \end{cases}$
- le modèle de Gulliver-Scheil suppose que $\begin{cases} D_{\text{solide}} = 0 \\ D_{\text{liquide}} = \infty \end{cases}$

La diffusion dans le liquide étant parfaite, on peut négliger la diffusion du soluté dans la phase liquide dans la direction du gradient de T° et considérer la diffusion du soluté dans la phase liquide comme très rapide dans la direction orthogonale à G_T .

6) $k = \frac{C_s}{C_L}$ et $m = \frac{dT_L}{dC}$

7) $k < 1 \Leftrightarrow C_s < C_L$

donc la composition la plus faible est au cœur de la dendrite

8) Cf Q7 partiel 2010-2011

9) Cf Q8 partiel 2010-2011

B Thermofonage

Usinage

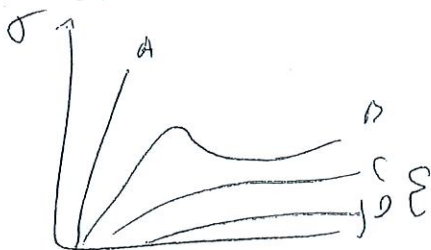
Extrusion - soufflage
Rotomoulage

POLYMERES

SUJET EXAM 2009-2010.

POLYMERES : 2009-2010

- 1) Def d'un polymère
- 2) Nom des polymères suivants : $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{O}}{\underset{|}{\text{C}}} \right]_n$ et $\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\underset{|}{\text{C}}} \right]_n$
- 3) Calcul d'un tx de cristallinité
- 4) Calcul d'une masse molaire moy \bar{M}_n et d'un \bar{M}_w en nombre poids.
- 5) Schéma des \neq types de refroidissement : expliquer
- 6) Donner la courbe d'éclat du volume spécifique en fct de ΔT pour un polymère amorphe et un polymère semi-cristallin.
- 7) a) que caractérise le module d'élasticité d'une matière?
b) Donner l'ordre de pdr de module d'élasticité d'un polyéthylène, d'alliage d'aluminium et d'acier.
- 8) 1) quel type de comportement méca correspond chaque courbe de la figure ci-dessous?



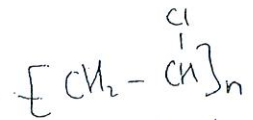
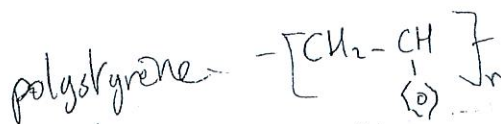
- 9) Citer 4 procédés de mise en forme des polymères. Expliquer et donner des exemples d'applications.
- 10) Quel est le paramètre qui a une influence directe sur la transparence des polymères? Pourquoi?

1) d'ours

2) a)

b) chlorure de vinyle

3) % de cristallinité



$$X_c = \frac{f - f_a}{f_c - f_a} \times \frac{f_c}{f}$$

f : masse vol du mat^{re} semi cristallin
 f_a : — de la phase amorph
 f_c : — cristall.

+ limite de transi^t vitreuse: intervalle de t[°]C ds lequel la mati^{re} passe d'un ^{état} caoutchouteux à solide

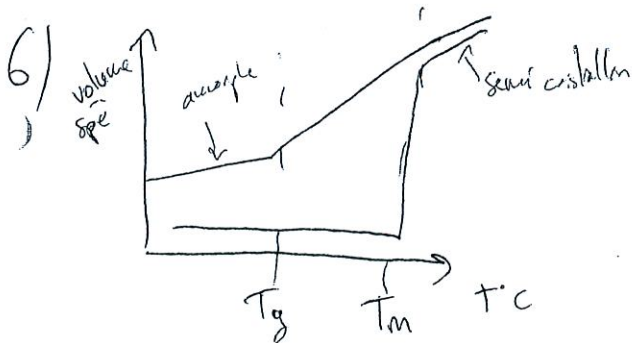
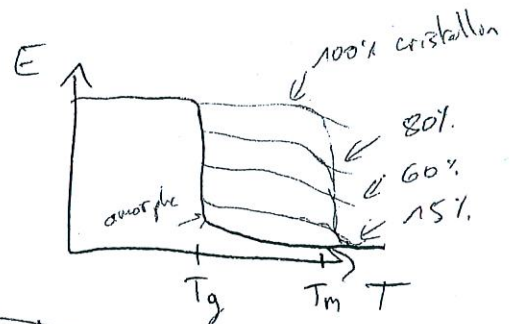
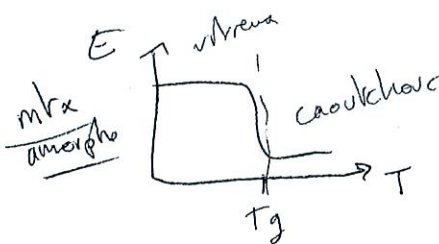
4) $\overline{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$ N_i : nbr de molécules de masse m_i
 en nombre

rotat^{ion} possible en grand nbr autour des liaisons covalentes

par défaut; $\overline{M}_p \geq \overline{M}_n$

$\overline{M}_p = \frac{\sum M_i (N_i M_i)}{\sum N_i M_i} = \frac{\sum N_i M_i^2}{N \overline{M}_n}$ en poids

5) $E = f(T)$

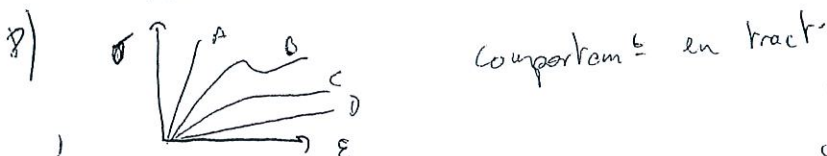


T_m : t[°]C de fusion cristalline
 T_g : t[°]C de transi^t vitreuse

7) a) Module d'élasticité = E = module d'Young

b) Polyéthylène = 16 Pa
 Alliage aluminium = 70 GPa
 Acier = 200 GPa

$\sigma = E \epsilon$
 σ est constant tant q^{ue} la limite d'élasticité n'est pas atteinte




mat^{re}
 A: fragile
 B: mat^{re} viscoplastique
 C: — sans seuil
 > viscoélastique

9) transparence dépend du % de cristallinité: morphologie existante → domaines ayant des ind^{ice}s de réfract. ≠ → ϕ lumière

Pr **C** former des chaînes macromoléculaires;

- réact. radicalaire (monomères ac double liaison. 3 étapes: amorçage, propagation, terminaison)
- catalytique (rapide, nécessite pas un milieu purifié)
- anionique (milieu purifié, coûteuse)
- de polycondensation
- de polyaddition

7 type de polymérisation:

- polymériser en masse : monomère $\swarrow \searrow$ catalyseur $T^\circ C$ convenable
 2 cas : solubilité $\swarrow \searrow$ 
 insoluble (polyds mono) (PVC)
 soluble (polyéthylène)

- _____ en suspension.

) - _____ en émulsion.

_____ on solub.

_____ en f gogense

x indice de polimolecularitate (polydispersitate)

$$P = \frac{\overline{M}_w}{\overline{M}_n} \geq 1$$

• T_g : t.c de transit. vitreuse

polymère amorphe : transparent
semi-cristallin : translucide voire opaque / dépend du % de cristallinité

GM5 - 2^{ème} Partie : Procédés de Solidifications.

2008 - 2009

Vous rédigerez cette partie sur une feuille séparée.

Pour toutes les questions qui suivent, on considère la solidification d'un alliage binaire.

- 1/ 1. Rappelez la condition pour que le front de solidification soit plan.
- 2/ 2) Pour quelle raison, la plupart des procédés de solidification conduisent à des structures de type dendritique ?
- 3/ 3) Sachant que le brassage du liquide dans le puits liquide d'un produit a tendance à augmenter le gradient thermique dans la phase liquide à l'interface puits liquide/zone pâteuse ou puits liquide/phase solide. Le brassage du liquide a-t-il tendance à favoriser pour une vitesse de front donnée la croissance en front plan ? Justifiez votre réponse.

- 4/ 4. En coulée continue (cf TD 1^{ère} séance), si l'on augmente la vitesse de tirage du produit, comment va évoluer la profondeur du puits liquide ? (explicitez votre réponse)

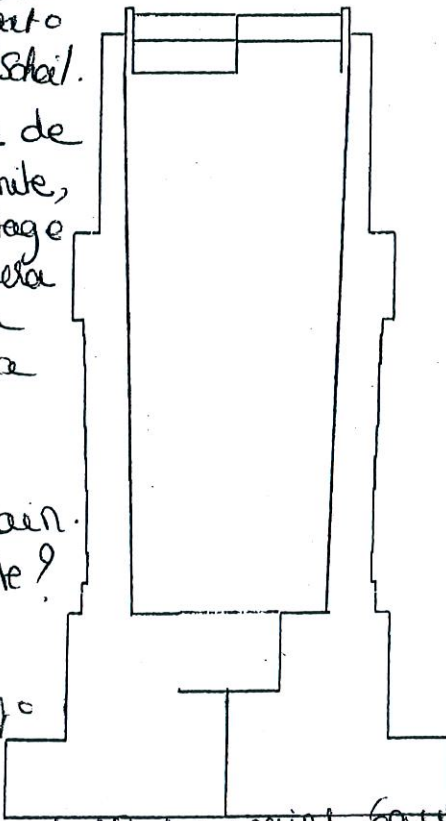
4. Dans le cas de la solidification de pièces massives en acier coulées en lingot, la sédimentation des grains équiaxes dans la partie centrale du produit est un des phénomènes les plus importants à prendre en compte dans ce cas pour les macroségrégations. Sur le schéma fourni avec l'énoncé, représentez par le signe + les zones où la macroségrégation sera positive et par des - les zones négatives. Vous justifierez votre réponse.

5. Donner le critère qui permet de choisir entre les modèles de microségrégation des bras de levier et Gulliver-Scheil.

6. Si l'on réalise une mesure de composition à l'échelle d'1 dentrite, dans le cas où le coeff de partage est plus petit que un, on trouvera la composition la + faible au cœur de la dentrite ou à sa périphérie ? Justifiez.

7. Y a-t-il une \neq entre un grain de solidification et une dentrite ? Si oui quelle est cette \neq ?

8. Dans le cas de la solidification de pièces massives en acier coulées en lingot, la sédimentation des grains équiaxes dans la partie centrale du produit est un des phénomènes les + importants à prendre en compte dans ce cas pour les macroségrégations. Sur le schéma fourni avec l'énoncé, représentez par le signe + les zones où la macroségrégation sera positive et par des - les zones négatives. Justifiez.



Solidification

Annales 2008-2009

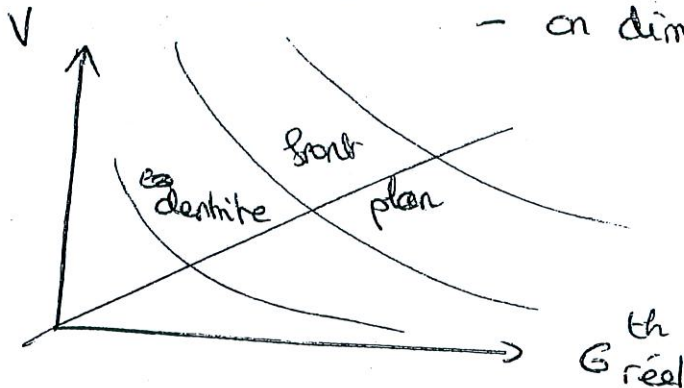
1. $G_{\text{réel}}^{\text{th}} > G_{\text{liquides}}^{\text{th}}$?

2. Colonnaire = solide fixe

équicape = grains de solides qui peuvent bouger. ↓

pour avoir un front plan, il faudrait maintenir le gradient de température donc chauffer en permanence, ce qui coûterait cher.

conditions front plan : - ↑ le gradient réel → pas facile
- on diminue la vitesse.



3. si on augmente $G_{\text{liq}}^{\text{th}}$, il sera plus difficile d'avoir la condition à la qu. 1
donc cela ne favorise pas la croissance en front plan.

4. si on ↑ la vitesse du produit, le liquide a -
le tps de se solidifier donc la profondeur du puit ↑.

5. Si $t_{\text{diff}} \gg t_{\text{solidif}}$, → diffusion négligeable.

$$d = \sqrt{D \times t} > \frac{\lambda}{2} \rightarrow \text{diffusion a le tps de s'effectuer}$$

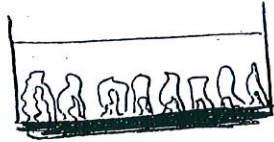
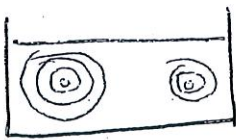
Bras de levier : diffusion parfaite dans liq et solide

Scheil : diffusion parfaite dans liq
négligeable dans solide

6. coef de partage $k = \frac{C_s}{C_L} < 1$

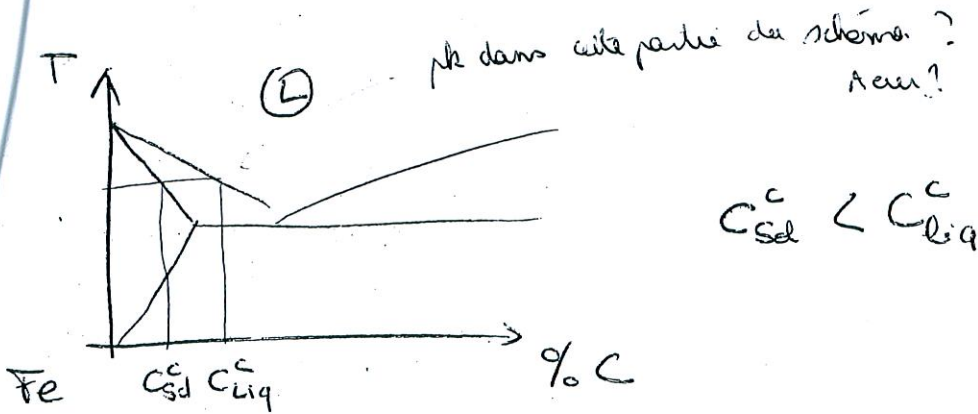
donc $C_s < C_L$ donc le liquide est + riche.

donc la compo + faible au cœur de la dendrite.

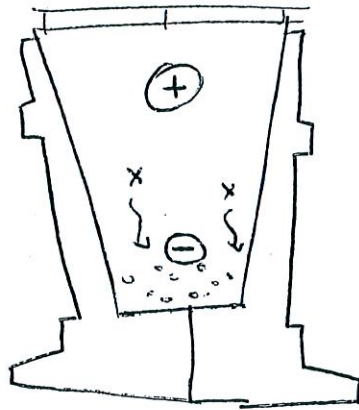


grain de solide : équiaxe ($V_s \neq 0$)

dendrite : colonnaire ($V_s = 0$)



solide - chargé en C - solide au bas (il tombe tjs)
d'air



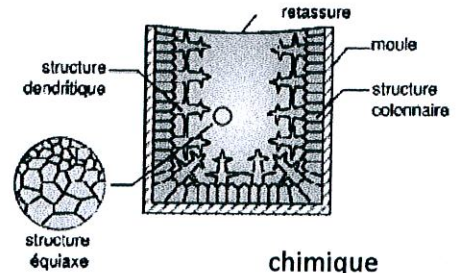


Solidification

Question de cours

Condition pour que le front de solidification soit plan

La moindre variation de gradient de température ou de composition va accélérer ou ralentir la croissance. Le front de solidification devient ondulé, les « pics » des ondulations formant les « troncs » des dendrites.



$GT > GC$ → Front plan

GT Gradient de thermique

GC gradient de température du liquidus

Si non plan, front instable car on est liquide alors qu'on devrait être solide. Le liquide devant l'interface est en surfusion. C'est un état métastable qui provoque l'accélération du front à certain endroit (plus plan)

Pour avoir un front plan :

- On augmente le gradient de température
- On diminue la vitesse

A quoi ça sert d'avoir un front plan

Condition nécessaire pour des microstructures régulières, permet de résister à des hautes températures (turbine à gaz, Japon, panneau thermo photovoltaïque)

Le brassage du liquide favorise-il la croissance en front plan pour une vitesse de front donné ?

Non car si le gradient de température du liquidus augmente, il sera plus difficile d'avoir les conditions de front plan et donc la croissance ne sera pas favorisée

Pourquoi la plupart des procédés de solidification conduisent à des structures du type dendritique ?

La température n'est pas homogène ? Conduction thermique anisotrope ?

Il faudrait avoir un mode de refroidissement homogène afin d'avoir un front plan et ainsi éviter la formation de dendrite. Il faudrait maintenir le gradient de température homogène, donc chauffer tout le temps, ce qui coûte cher...

Croissance colonnaire

V est connue

$\Delta T(v)$

Solide fixe

Croissance Equiaxe

ΔT connu

$V(\Delta T)$

En continu si on augmente l'épaisseur (la vitesse ?) du produit comment va évoluer la profondeur du puits liquide ? Justification

Grain de solide pouvant couler ou bouger

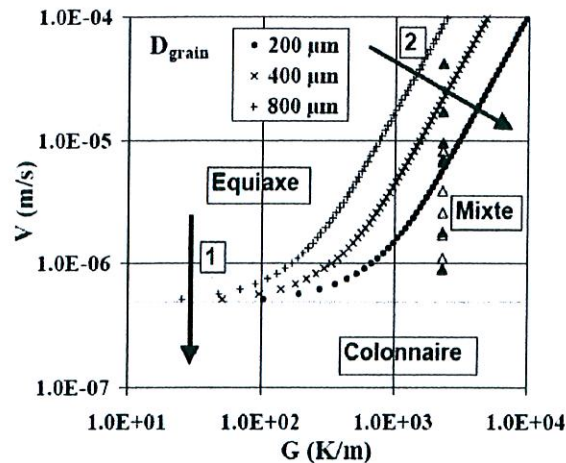


Figure 1. Transition colonnaire-équiaxe dans un alliage Al-3,5%Pds Ni affiné : transition pour différentes tailles de grains selon le modèle de Hunt (Hunt, 1984), et points correspondant à nos expériences.

produit comment va évoluer la profondeur du puits liquide ? Justification

Si on augmente la vitesse du produit le liquide a moins le temps de se solidifier donc la profondeur du puits augmente. En effet, on a vu dans le TD que $z = e^2 \cdot K \cdot V_p$ où z est la profondeur de puits, V_p est la Vitesse du produit, e l'épaisseur et K un terme > 0 ...

Définition Macro ségrégation : résulte du moment la composition chimique locale qui diffère de la composition chimique moyenne. Ce phénomène est notamment dû à la convection.

Cause :

- La contraction lors de la solidification
- L'effet de la gravité sur la différence de densité causée par le changement de phase ou de composition chimique
- Forces centrifuges ou électromagnétiques
- Formation de bulles de gaz

Définition de la micro ségrégation : durant la solidification d'un alliage dendritique, le soluté rejeté à l'interface solide/liquide est redistribué (dans un rayon de 10 à 100 micromètres) par diffusion ou par convection. Le processus de micro ségrégation contrôle la composition, la microstructure et la fraction de phases eutectiques.

Existe-t-il une différence entre un grain de solidification et une dendrite ?

Grain de solidification : dans le liquide, il est mobile, structure équiaxe

Dendrite : rattaché au solide, $V_s = 0$, structure colonnaire

SHEIL ou BRAS DE LEVIER

On étudie en fait sur un laps de temps donnée si la diffusion se fait sur au moins la demi-longueur d'une dendrite.

- Si oui Bras de levier $\rightarrow L_{diff} > \lambda/2$

- Diffusion parfaite dans le solide et liquide
- Si non SHEIL → $L_{diff} < \lambda/2$
- Diffusion parfaite dans le liquide et négligeable dans le solide

Avec $L_{diff} = \text{Racine de } (D \cdot t)$

Coefficient de partage

$$K = C_S / C_L$$

Si $k < 1$, $C_S < C_L$ donc le liquide est plus riche, et donc le solide, la dendrite est plus pauvre.

On peut donc dire que la composition est plus faible au cœur de la dendrite (il y a eu quelques questions la dessus aux partiels).

Anisotrope : Dépend de la direction

Instabilités : dendrites

Considérons un liquide dans un récipient (moule). Lorsque la température diminue, le liquide atteint sa température de solidification. Le refroidissement se fait par l'extérieur et la chaleur met du temps à diffuser vers les bords (voir conduction thermique et loi de Fourier). Le centre du liquide est donc plus chaud que les bords.

En conséquence, la solidification commence par les bords, et ce d'autant plus que ceux-ci peuvent présenter des aspérités formant des sites de germination (la tension superficielle y est localement plus basse, voir l'article surfusion).

On a donc un front de solidification qui est initialement parallèle aux parois du récipient : la couche de solide est globalement homogène. Les atomes du liquide se positionnent plus facilement selon certains plans cristallins que d'autres ; on a donc des cristaux dont une direction dense est perpendiculaire à la paroi. Cette structure est dite « colonnaire », on parle de « texture de solidification ».

La croissance dendritique est un cas particulier d'instabilité morphologique interfaciale.

Les dendrites sont des cristaux en forme de fougères obtenus par croissance rapide à partir de bains fondus sous-refroidis, de solutions ou de vapeurs sursaturées. La formation des dendrites arrive normalement durant les premiers instants de la cristallisation. En fin de processus, la croissance réalisée à vitesse de croissance uniforme (vitesse constante) peut changer complètement la morphologie du cristal de telle façon que les dendrites formées au préalable ne seront plus visibles.

Les dendrites sont composées d'un cristal principal, appelé tronc, qui croît très rapidement au début de la cristallisation, de branches primaires qui croissent dans un état plus avancé de la croissance avec une vitesse inférieure à celle du tronc et normalement d'orientation perpendiculaire à celui-ci.

Dans certains cas, des "branches" secondaires ayant des vitesses de croissance encore plus lente peuvent croître perpendiculairement aux "branches" primaires. Éventuellement à la fin de la croissance les branches peuvent arrêter de croître et l'espace entre les branches peut alors se remplir de produit cristallin, ce qui rendra invisible la dendrite. Ce phénomène est observé par exemple pour la plupart des métaux qui croissent en forme de dendrites sans que celles-ci soient visibles.

Les cristaux de glace présentent aussi des dendrites qui sont facilement observables lors de la formation de glace sur une vitre, car la croissance ne se produit que dans deux dimensions.

La croissance des dendrites est immédiate dans des couches fines de liquide, généralement due à la grande vitesse d'évaporation, mais presque impossible dans des systèmes agités.

La croissance de dendrites est favorisée pour des solides présentant une enthalpie de cristallisation élevée et une faible conductivité thermique.

thermo plastique = réversible
thermo durissable = irréversible

Polymère

Définition d'un polymère : Chaîne moléculaire identifiable de grande masse constituée par un grand nombre de même unité moléculaire : le monomère

Procédés de mise en forme des polymères :

Moulage par contact et stratification :

Si j'ai bien compris !

On a un moule au départ et on va y déposer des couches de polymère que l'on va enduire de résine d'époxy (y'en a peut-être d'autres) puis on referme le moule on y met un peu de pression on laisse sécher puis on démoule

<http://www.youtube.com/watch?v=avixyt3T2o> stratification d'un boomerang

Procédé simple mais assez long, il demande beaucoup de main d'œuvre et un long temps de séchage (2j et demi)

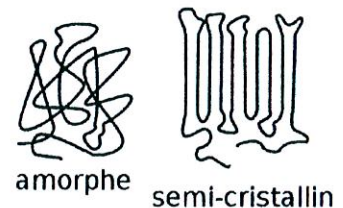
Moulage par compression :

Un moule est entièrement rempli de résine (polymère), on applique une force énorme (800t), on chauffe on laisse refroidir ce qui durcit le matériau. Procédé très rapide 2min30

Polymère amorphe :

On dit qu'un polymère est amorphe lorsqu'il n'y a pas d'arrangement ordonné de ses molécules. Les polymères sont amorphes quand leurs chaînes de molécules sont emmêlées dans tous les sens.

- Absence d'ordre moléculaire
- Conformation en pelote statique (pelote de laine qui ne bouge pas)



Propriétés :

- Transparent
- Rigide
- Perméable à certain gaz

Polymère semi cristallin : Un cristal est un ensemble de molécules arrangées dans un ordre bien précis. Elles sont ordonnées. Dans un polymère cristallin les chaînes sont bien alignées comme des nouveaux crayons dans leur boîte.

- Régularité structurale
- Présence de germes
- Refroidissement lent après fusion
- Translucide voir opaque suivant le taux de cristallinité

Pour toutes les questions qui suivent, on considère la solidification d'un alliage binaire.

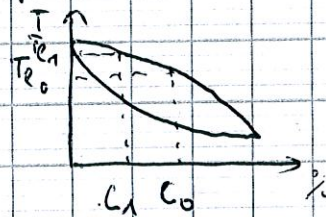
1. Rappelez la condition pour qu'un front de solidification soit plan et donner la signification physique de cette condition.
2. A vitesse de front et gradient de température égaux, si un alliage de composition C_0 se solidifie en front plan, un alliage de composition inférieure à C_0 se solidifiera-t-il nécessairement en front plan ? Argumentez votre réponse.
3. En coulée continue (cf TD 1^{ère} séance), si l'on augmente la vitesse du produit, toute chose égale par ailleurs, comment va évoluer la profondeur du puits liquide, argumentez votre réponse ?
4. Pour quelle raison est-il possible dans les modèles de microségrégation des bras de levier et Gulliver-Scheil de supposer que la diffusion du soluté dans la phase liquide dans la direction perpendiculaire au gradient de température est très rapide et donc que la concentration en soluté dans la phase liquide est uniforme ?
5. Donnez la définition d'une structure colonnaire et d'une structure équiaxe.
6. Si l'on réalise une mesure de composition à l'échelle d'une dendrite, dans le cas où le coefficient de partage est plus petit que un, on trouvera la composition la plus faible au cœur de la dendrite ou à sa périphérie ? Justifiez votre réponse.
7. Entre une expérience de solidification réalisée sur terre et en micro-gravité, laquelle des deux conduira à votre avis à une macroségrégation plus sévère, argumentez votre réponse.
8. Donner un exemple d'alliage binaire pour lequel la masse volumique de la phase liquide diminue avec la température dans l'intervalle de solidification.
9. L'intensité de la microségrégation définie comme l'écart entre la composition maximale et la composition minimale à l'échelle d'une dendrite est-elle plus importante quand on augmente la composition en soluté de l'alliage (on supposera que le coefficient de partage est plus petit que un) ? Argumentez votre réponse.
10. Citer une application industrielle où le mode de solidification est en front plan et donner la raison de ce choix.

Partiel 2010/2011 - Solidification.

- 1) Pour qu'un front de solidification soit plan, il faudrait maintenir le gradient de T donc chauffer en permanence.
- ↳ $G_{\text{sol}}^{\text{th}} > G_{\text{liquides}}^{\text{th}}$: l'interface solide/liquide est en surfusion. Ceci provoque une accélération du front plan et donc la formation et croissance des dendrites.

Néanmoins, chauffer en permanence coûterait cher.

- 2) Non, car un alliage de composition C_0 aura une T^0 de liquides plus haute.



Par conséquent $G_{\text{liquides}}^{\text{th}}$ va varier et ~~diminuer~~ d'après la question 1, le $G_{\text{sol}}^{\text{th}}$ ne sera plus forcément $> G_{\text{liquides}}^{\text{th}}$.

- 3) Si on $>$ la vitesse de refroidissement, le liquide a \ominus le temps de se solidifier donc la profondeur du puit \nearrow .

- 4) Dans les modèles de microségrégation des bras de lever et de Gulliver-Scheil, la diffusion dans le liquide est parfaite. Par conséquent, la concentration en soluté dans la phase liquide est uniforme.

- 5) Structure colonnaire : structure formée de dendrite et où le solide est fin.

Structure spongieuse : structure formée de grains de

solidification qui peuvent bouger dans le liquide.

6) Par déf, $k = \frac{C_s}{C_l}$ donc si $k < 1$
 $\Leftrightarrow C_s < C_l$ donc le liq est + riche
La composition est donc plus faible au cœur de la dendrite.

7) L'expérience de solidification réalisée sur terre conduira à une macrosegrégation plus sévère.
En effet la gravité favorise la convection au sein du liquide et donc la macrosegrégation.

8) Nous pouvons prendre l'alliage $Pb-Sn$. En effet, la densité de liquide Pb est plus importante que celle du Sn .
Par exemple lors d'un refroidissement par en dessous d'une structure colonnaire $Pb-Sn$



9)

10) Condit° pour avoir des microstructures régulières
résiste à des hautes T^*

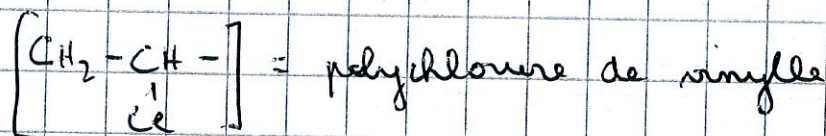
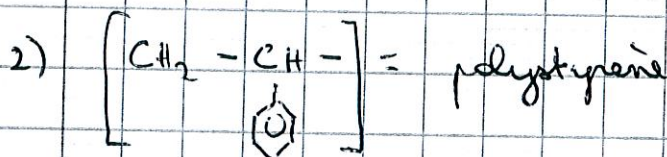
→ turbine d'engin Japon

→ panneau thermophotovoltaïque

Partiel 2011 - Polymère

1) Définition d'un polymère :

- chaîne moléculaire identifiable de grande masse constituée par un grand nombre d'unités moléculaires appelées monomères
- le choix des monomères et le poids ^{final} du polymère ainsi que sa taille décident des propriétés ρ et mécaniques du polymère final.
- Il existe 2 grandes familles de polymère : - thermoplastique
- thermosettable



3) Calcul du taux de cristallinité :

$$X_c = \frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a} \times \frac{\rho_c}{\rho} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \rho = \text{mv du matériau SC} \\ \rho_a = \text{mv de la phase amorphe} \\ \rho_c = \text{cristalline} \end{cases}$$

4) Calcul masse moléculaire moyenne en nombre et masse moléculaire moyenne en poids

$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{N}$$

$$\bar{M}_p = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} = \frac{\sum N_i M_i^2}{N \bar{M}_n}$$

5) Pb d'allongement d'un câble sous une charge

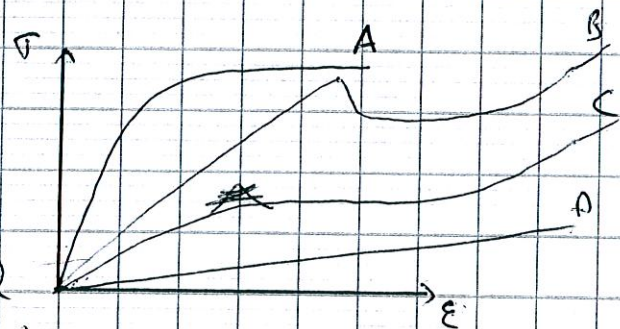
$$\left\{ \begin{array}{l} l = 1 \text{ m} \\ S = 1 \text{ mm}^2 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{charge} = 2 \text{ kg} \\ E_{\text{nylon}} = 3000 \text{ MPa} \\ E_{\text{acier}} = 150\,000 \text{ MPa} \end{array}$$

$$\rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon \Leftrightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F}{S} \cdot \frac{L_0}{\Delta L}$$

6) Def. module d'élasticité : $\sigma = E \cdot \varepsilon$

Valeur du polyéthylène : 1 GPa
Alu : 70 GPa
Acier : 210 GPa

7) Comportement mécanique



A : fragile
 B : viscoplastique avec seuil
 C : viscoplastique sans seuil
 D : viscoélastique

8) 4 procédés de mise en forme

1) polymérisation en masse

• Cas 1 : polymère ^{liquide} insoluble dans le monomère
 → le liquide évacue la chaleur

• Cas 2 : polymère soluble dans le monomère

→ pb d'évacuation de la chaleur car le polymère va devenir visqueux (conduit mal la chaleur)

2) Polymérisation en suspension : le monomère, dans

lequel le catalyseur est soluble, est dispersé dans l'eau sous forme de petite gouttelettes, à l'aide d'un tensioactif et une forte agitation.

FAUX :
 elles sont des
 procédés
 de floculation

Partiel 2011 - Polymères (2)

La polymérisation se fait en masse dans des sphères.

3) Polymérisation en solution

9) Influence de l'écalement des polymères ?

Pour la Q 8 \Rightarrow je pense que la questⁿ n'est pas
procédés de fabricatⁿ mais bien
mise en forme

soit 1. Moulage par contact et stratifié

• multi couche résine époxy/polymère/époxy/...
On cuit le tout et on laisse refroidir
 $\approx 2 \text{ j } 30 \Rightarrow$ bcp de main d'œuvre

2. Moulage par compression

\rightarrow injectⁿ
liquide

le moule est rempli de résine de polymère
puis avec une énorme presse (800 Tonn^{es} !
ou presse...)
puis on chauffe on laisse refroidir

\hookrightarrow on démoule (un cake !)

$\approx 2 \text{ min } 30 \Rightarrow$ lourd investissement
de dépenses pour les
presse

3. Rotomoulage

Kayak = Gros moule en acier

~~gros moule en acier~~

\hookrightarrow insère du polymère
le moule tourne dans tous
les sens le polymère se dépose
sur toute la surface puis on démoule

4. thermoformage

Gabarri en acier

↳ une toile de polymère ~~les~~
on souffle de l'air chaud pour
une homogénéité de surface
le gabarri ~~se~~ monte la toile épouse
la forme du gabarri

↳ on fait le vide pour que
la toile épouse parfaitement
le gabarri

↳ on refroidit puis
démoule !

1. En coulée continue (cf TD 1^{ère} séance), si l'on augmente l'épaisseur du produit à vitesse de tirage égale, comment va évoluer la profondeur du puits liquide, justifiez votre réponse ?
2. Existe-t-il une différence entre un grain de solidification et une dendrite ? Si oui quelle est cette différence ?
↳ du liquide *↳ rattacher au solide*
3. Rappelez les critères qui permettent de justifier l'utilisation du modèle des bras de leviers pour l'étude des microségrégations.
→ diffusion
4. Même question pour le modèle de Gulliver-Scheil.
→ et vitesse de refroidissement

Pour toutes les questions qui suivent, on considère la solidification d'un alliage binaire, dont le diagramme d'équilibre est donné sur la figure 1.

5. Soit un alliage de composition donnée C_0 dont la valeur est indiquée sur la figure 1. Représenter sur la figure 1 la température de liquidus de cet alliage, ainsi que sa température de solidus.
6. Calculer la proportion de phases formées à la température eutectique, si l'on suppose que la diffusion du soluté dans les phases liquide et solide est parfaite.
7. Même question si l'on suppose que la diffusion du soluté dans la phase liquide est parfaite et qu'elle est négligeable dans la phase solide.
8. Si l'on réalise une mesure de composition à l'échelle d'une dendrite, on trouvera la composition la plus faible au cœur de la dendrite où à sa périphérie ? Justifiez votre réponse.

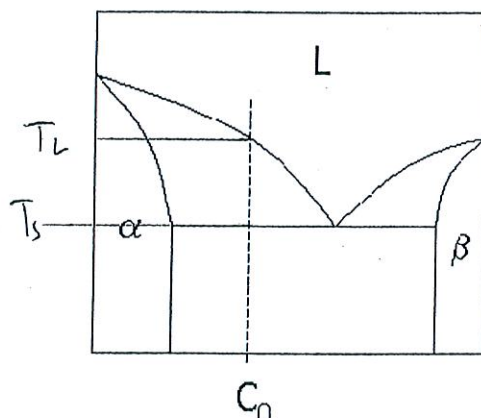
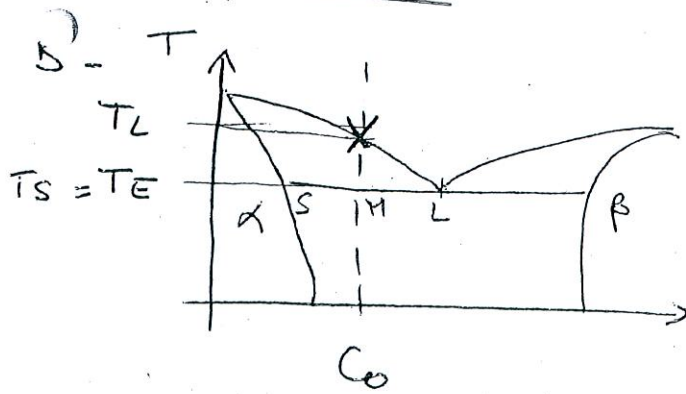


Figure 1 : Diagramme d'équilibre de l'alliage considéré.

9. On coule un alliage dans une cavité rectangulaire (en bidimensionnel). La température de coulée est égale à la température de liquidus de cet alliage, autrement dit il n'y a pas de surchauffe. La cavité est refroidie par sa paroi horizontale inférieure, les autres parois étant parfaitement isolées thermiquement. Une zone colonnaire se forme à partir de la paroi refroidie. Donner les différentes possibilités de mouvement du liquide en les expliquant. Notamment, tracer sur un diagramme densité de la phase liquide en fonction de la température, les différentes possibilités d'évolution de cette grandeur, en donnant un exemple d'alliage pour chaque cas.
10. Peut-on s'attendre à observer une macroségrégation, si oui, pour les différents cas, indiquer sur un schéma comme en TD les zones ségrégées positivement et négativement.
11. Même question si le refroidissement est maintenant assuré par la paroi horizontale supérieure.

Solidification

Annales 2007-2008



6 - Bras de levier

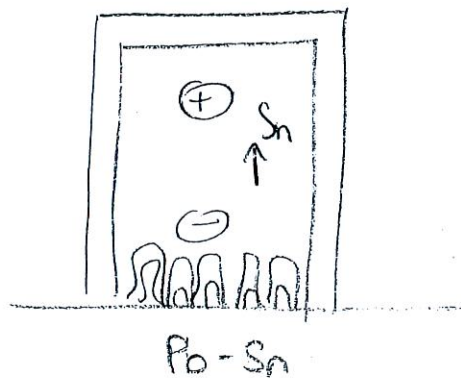
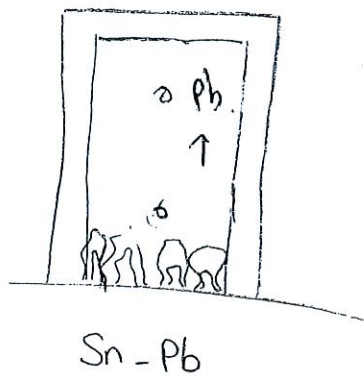
$$g_S = \frac{n^S}{n} = \frac{n_L}{L_S}$$

$$g_L = \frac{n_L}{n} = \frac{n_S}{L_S}$$

7 - Scheil

8 - Déjà fait

9 -



$$c_{Pb} \gg c_{Sn}$$

